
DINAMIKA POPULASI MIKROBA PADA DEKOMPOSISI AWAL CAMPURAN LIMBAH *FLESHING* DAN JERAMI PADI DENGAN PERBEDAAN NISBAH C/N

DYNAMICS OF MICROBIAL POPULATION IN INITIAL DECOMPOSITION OF FLESHING WASTE AND RICE STRAW MIXTURE WITH DIFFERENT C/N RATIOS

Received : Apr 11th 2025

Accepted : June 13th 2025

Syahna Carissa Maharani¹

Eulis Tanti Marlina^{*2}

Deden Zamzam Badruzzaman²

¹Program Studi ilmu Peternakan
Fakultas Peternakan Universitas
Padjadjaran

¹Departemen Teknologi Hasil
Peternakan Fakultas Peternakan
Universitas Padjadjaran

*Korespondensi:
Eulis Tanti Marlina

Departemen Teknologi Hasil
Peternakan Fakultas Peternakan
Universitas Padjadjaran

Jalan Ir. Soekarno km.21
Jatinangor, Kabupaten Sumedang
45363 Jawa Barat, Indonesia

e-mail:
eulis.tanti@unpad.ac.id

Abstract. *Fleshing waste from the tanning industry has the potential to be converted into compost because the nitrogen (N) content can still be utilized by adding rice straw as a carbon source (C) to provide balanced microbial nutrition. Initial decomposition is the stage of decomposition of organic matter by microbes in a controlled manner, changing complex compounds into simpler ones to grow decomposing microbes that will be used as raw materials for further decomposition in the integrated processing process. The dominant microbes are bacteria and molds. This study aims to determine the population and dynamics, as well as the characteristics of bacteria and molds during the initial decomposition of a mixture of fleshing waste and rice straw with different C/N ratios. The study was conducted for 7 days using experimental and descriptive methods with 3 treatments (P1 = C/N 25.0; P2 = C/N 27.5; P3 = C/N 30.0). Data on the number of bacterial and mold populations were analyzed using analysis of variance, while the population dynamics and characteristics were analyzed descriptively. The results showed that the C/N ratio between 25-30 produced no different bacterial and mold populations. The bacterial population ranged from $11.87 \times 10^{12} - 12.31 \times 10^{12}$ CFU/g, while the mold population ranged from $4.57 \times 10^5 - 4.93 \times 10^5$ CFU/g. Temperature fluctuations during early decomposition affected the population dynamics. The dominant bacteria in the mesophilic phase were *Bacillus* sp. and the thermophilic phase *Pseudomonas* sp., while the dominant molds in the mesophilic phase were *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Mucor* sp. and *Penicillium* sp. which play a role in lignocellulose biodegradation, forming a microbial consortium that accelerates the decomposition of organic waste.*

Keywords: *Bacteria, C/N Rasio, Fleshing waste,, Initial Decomposition, Mold, Rice Straw*

Sitasi :

Maharani, S, C., Marlina, E, T. & Badruzzaman, D, Z. (2025). Dinamika Populasi Mikroba Pada Dekomposisi Awal Campuran Limbah Fleshing dan Jerami Padi dengan Perbedaan Nisbah C/N. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 6(2): 21-43

PENDAHULUAN

Industri penyamakan kulit, yang mengubah kulit mentah menjadi kulit tersamak, menghasilkan limbah padat signifikan dalam proses *fleshing*, yaitu pembuangan sisa daging dan lemak. Limbah *fleshing* ini, yang dihasilkan sekitar 70-230 kg dari setiap ton kulit mentah, berpotensi mencemari lingkungan secara langsung maupun tidak langsung karena sisa bahan kimia dari proses penyamakan (Pucini, dkk. 2014). Selain itu, penanganan limbah di industri ini seringkali belum efisien, dengan banyak limbah *fleshing* langsung dibuang ke TPA tanpa pengolahan. Padahal, limbah ini mengandung protein (50-80%) dan lemak (20-40%) yang dapat dimanfaatkan (Ecobichon, 1999; Wang, dkk. 2012; Madanhire & Mbohwa, 2015).

Kandungan nitrogen dalam protein limbah *fleshing* memungkinkan dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, terutama karena sifatnya yang mudah terdegradasi. Oleh karena itu, muncul gagasan untuk mengomposkan limbah *fleshing*, baik yang sudah dihilangkan lemaknya maupun yang masih segar. Proses pengomposan ini memanfaatkan limbah *fleshing* sebagai sumber nitrogen dalam bahan organik, dimana mikroba berperan sebagai agen biologis utama yang mendegradasi bahan organik kompleks, seperti protein dan lemak menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti asam amino, amonia, dan senyawa karbon sederhana. Secara spesifik, mikroba memecah ikatan kimia panjang seperti rantai peptida

dalam protein menjadi ikatan yang lebih pendek melalui proses enzimatik.

Pembuatan kompos dari limbah *fleshing* diawali dengan proses dekomposisi awal atau *pre-composting*, yang merupakan tahap penguraian bahan organik secara terkendali oleh mikroba dalam kondisi aerobik, hangat, dan lembab. Bahan organik yang digunakan adalah limbah *fleshing* yang telah menjadi lumpur (*sludge*) setelah pemanasan, ditambah jerami padi dan ekoenzim. Proses ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah *fleshing* dengan teknologi sederhana guna mengatasi pencemaran. Faktor-faktor yang mempengaruhi dekomposisi awal meliputi komposisi bahan (nisbah C/N), kadar air, suhu, pH, ketersediaan oksigen dan aktivitas mikroba. Kendala utama adalah kandungan lemak dan kapur yang tinggi pada limbah *fleshing*, sehingga diperlukan *pre-treatment* untuk mengurangi zat-zat tersebut dan menyesuaikan pH pada rentang optimal (6,8-7,2) (Djuarani, dkk. 2006)

Proses dekomposisi sangat bergantung pada aktivitas mikroba, yang memerlukan keseimbangan nutrisi dan pH yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini membagi proses pembuatan dekomposisi awal menjadi beberapa tahap, dimulai dengan *pre-treatment* limbah *fleshing* untuk mengurangi kapur dan lemak, serta menentukan perlakuan yang tepat. Tahap selanjutnya adalah pembuatan dekomposisi awal dengan penambahan jerami dan ekoenzim. Jerami padi berfungsi sebagai sumber karbon

untuk menyeimbangkan nisbah C/N, meningkatkan struktur dan aerasi, sehingga mendukung aktivitas mikroba pengurai. Penggunaan jerami dan ekoenzim sangat penting untuk mendapatkan hasil dekomposisi awal yang optimal dari limbah *fleshing*.

Sementara itu, limbah *fleshing* memiliki pH yang tinggi sekitar 9-10, maka ditambahkan ekoenzim untuk menetralkan pH dari limbah *fleshing* tersebut. Ekoenzim memiliki sifat asam pada rentang pH antara 3 dan 4. Ekoenzim mengandung enzim dan mikroba yang dapat mempercepat penguraian bahan organik, mengurangi bau, menurunkan polutan dan meningkatkan kualitas kompos dengan kandungan hara yang lebih tinggi. Kombinasi keduanya mempercepat dekomposisi, meningkatkan efisiensi proses, dan menghasilkan kompos ramah lingkungan yang bermanfaat bagi pertanian (Supriyanto & Widodo, 2020). Penggunaan ekoenzim tidak hanya bertujuan untuk menetralkan pH, tetapi juga berfungsi sebagai bioaktivator alami yang mempercepat proses dekomposisi, mendukung keberagaman mikroba, dan menghasilkan produk akhir yang lebih berkualitas dan ramah lingkungan. Urgensi ini sejalan dengan tujuan utama penelitian, yaitu memahami dinamika populasi mikroba pada fase awal dekomposisi dalam kondisi yang dikendalikan secara optimal. Tahap terakhir yaitu proses pengamatan populasi bakteri dan kapang yang ada pada proses dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dengan

jerami padi dan ekoenzim. Rendahnya nisbah C/N pada limbah *fleshing* membutuhkan penambahan jerami padi yang kaya akan karbohidrat, lignin dan silika untuk mencapai nisbah C/N optimal (25-30) dalam dekomposisi awal, di mana nisbah C/N penting untuk kecepatan penguraian dan nutrisi mikroba (bakteri dan kapang) yang dominan dalam proses ini. Mikroba ini berperan sebagai pengurai awal, mensintesis nitrogen, dan melarutkan fosfat, memanfaatkan unsur C dan N untuk pertumbuhan populasi yang bervariasi karena proses ekotermik (10-45°C) yang selektif. Meskipun penting, perubahan populasi, karakteristik makroskopis, dan mikroskopis bakteri dan kapang selama dekomposisi awal masih belum diketahui.

Aktivitas mikroba selama dekomposisi awal sangat penting dan tercermin dalam dinamika populasi mikroba, yang menunjukkan perubahan jumlah dan waktu yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik. Mengetahui dinamika populasi mikroba memberikan informasi tentang kapan populasi maksimum tercapai dan kapan proses dekomposisi awal mencapai kematangan. Jumlah total bakteri dan kapang yang optimal bervariasi tergantung pada jenis bahan organik dan kondisi dekomposisi, dengan peningkatan populasi mikroba seringkali sejalan dengan peningkatan aktivitas enzim. Suhu adalah salah satu faktor kunci yang mempengaruhi aktivitas enzim mikroba. Menurut Biyada, dkk. (2021) komunitas mikroba menga-

alami perubahan dinamis selama proses pengomposan, dengan bakteri seperti *Cellulomonas* dan *Streptomyces* mendominasi pada fase mesofilik, dan jamur seperti *Thermomyces* dan *Arthrobotrys* muncul pada fase selanjutnya. Pemahaman tentang dinamika populasi mikroba ini penting untuk mengoptimalkan proses pengomposan limbah fleshing menjadi kompos yang stabil dan kaya nutrisi

Karakteristik makroskopis dan mikroskopis mikroba, seperti bentuk, permukaan, tepi, warna, bentuk sel, dan respons terhadap pewarnaan, penting untuk identifikasi dan pemahaman peran mereka dalam dekomposisi. Mengetahui karakteristik makroskopis dan mikroskopis bakteri serta jamur yang berperan selama proses dekomposisi organik pada tahap awal sangatlah penting untuk memantau dan mengontrol dinamika komunitas mikroba secara tepat. Menurut Nemet, dkk. (2021) bahwa pengenalan mikroba saat fase mesofilik terutama bakteri *Proteobacteria* dan *Actinobacteria* mengindikasikan efisiensi awal dekomposisi, sedangkan munculnya jamur *Ascomycota* dan *Basidiomycota* di fase pemeraman menandakan pemecahan bahan lignoselulosa. Kombinasi data makro dan mikro ini memungkinkan penentuan waktu optimal untuk manipulasi proses seperti aerasi atau penambahan amandemen, sehingga kualitas kompos dapat dihasilkan dengan stabil dan konsisten. Namun, penelitian tentang perubahan populasi, karakteristik makroskopis, dan mikroskopis mikroba selama dekomposisi awal campuran

limbah *fleshing* dan jerami padi yang dipengaruhi oleh nisbah C/N masih terbatas. Penelitian lebih lanjut di bidang ini akan memberikan dasar ilmiah untuk mengontrol kualitas dan Penelitian ini bertujuan untuk memahami dinamika populasi mikroba pada fase awal dekomposisi campuran limbah fleshing dan jerami padi dengan perbedaan nisbah C/N, serta mengevaluasi peran ekoenzim sebagai bioaktivator alami dalam menciptakan kondisi dekomposisi yang optimal, termasuk dalam menetralkan pH, mempercepat proses penguraian bahan organik, mendukung keberagaman mikroba, dan meningkatkan kualitas hasil dekomposisi yang ramah lingkungan.

MATERI DAN METODE

1. Objek Penelitian dan Bahan yang digunakan

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan utama dalam proses dekomposisi awal, yaitu air, limbah *fleshing* penyamakan kulit yang diperoleh dari PT. Elco Indonesia Sejahtera, jerami padi dan ekoenzim hasil fermentasi feses sapi potong dan jerami padi. Untuk proses *pretreatment*, digunakan limbah *fleshing* dan jerami padi. Dengan tahapan *pretreatment* ini, campuran limbah fleshing dan jerami padi menjadi lebih homogen, bebas patogen, dan ramah terhadap aktivitas mikroba, sehingga proses dekomposisi dapat berjalan secara efisien dan menghasilkan kompos berkualitas tinggi. Dalam isolasi dan perhitungan total mikroba, bahan-

bahan yang digunakan meliputi *aqua-dest*, media agar (NA untuk bakteri dan PDA untuk kapang), NaCl 0,9%, alkohol, antibiotik (*Chloramphenicol*) dan spirtus. Identifikasi bakteri dan kapang secara morfologi menggunakan alkohol 95%, aquades, isolat bakteri dan kapang, minyak imersi, serta pewarna Gram (kristal violet, *iodine*, alkohol 95%, air *fuchsin*).

2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam proses dekomposisi awal meliputi *polybag noblen*, pH meter, termometer, timbangan dan wadah plastik. Untuk *pre-treatment*, digunakan kompor, panci, tong, gayung, capitan, timbangan, mesin pencacah jerami padi, tongkat kayu, *trashbag* dan tali rafia. Isolasi dan perhitungan total mikroba memerlukan *autoclave*, *laminar flow*, *beaker glass*, *bunsen*, botol *schott*, cawan petri, *colony counter*, inkubator, kassa, kertas label, *plastic wrap*, spuit, plastik klip, rak tabung reaksi, tabung reaksi, timbangan, timbangan analitik, *vortex mixer* dan mikropipet. Identifikasi bakteri dan kapang menggunakan *bunsen*, jarum inokulum, pipet tetes, *cover glass*, penjepit, *object glass* dan mikroskop cahaya.

3. Metode Penelitian dan Peubah yang Diamati

3.1 Analisis Bahan (Kadar Air, Kadar C, Kadar N dan pH).

Kadar air diukur untuk memastikan kelembapan bahan optimal, yaitu sekitar 50–60%. Analisis kandungan nisbah C/N menggunakan metode *Walkley Black* (SNI 7763:2018) untuk C total dan metode *Kjeldahl* untuk N

total. Kandungan C (karbon) dan N (nitrogen) masing-masing bahan, diukur untuk menentukan nisbah C/N campuran bahan. Limbah *fleshing* memiliki kadar C sebesar 48,15% dan N sebesar 3,48% , sedangkan jerami padi memiliki kadar C sebesar 37,86% dan N sebesar 0,86%. Kadar air limbah *fleshing* yaitu sebesar 63,6% dan jerami padi sebesar 10%.

3.2 Persiapan dan Preparasi Sampel

Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah *fleshing*. Substrat tersebut diperkaya dengan jerami padi sehingga menghasilkan nisbah C/N sebesar 25,0; 27,5; dan 30,0. Air dan ekoenzim ditambahkan kedalam campuran bahan sampai diperoleh pH campuran sebesar 6-7 mengingat limbah *fleshing* bersifat basa karena memiliki pH sekitar 9-10 serta menghasilkan kadar air sebesar 60%. Perhitungan komposisi bahan dihitung berdasarkan masing-masing perlakuan nisbah C/N. Imbangan masing-masing bahan dihitung berdasarkan rumus Kondo (1991) :

$$C/N = \frac{LK (C1) + JP (C2)}{LK (N1) + JP (N2)}$$

Keterangan:

C/N = Imbangan (Nisbah) C/N

C1 = % kandungan C organik limbah kulit

C2 = % kandungan C organik Jerami Padi

N1 = % kandungan N total limbah kulit

N2 = % kandungan N total jerami padi

LK = Limbah Kulit (kg)

JP = Jerami Padi (kg)

$$PKA = [(JLK \times KA1) + (JJP \times KA2)]$$

Keterangan :

PKA = Penambahan Kadar Air

JLK = Jumlah limbah kulit

JJP = Jumlah Jerami Padi

KA1 = Kadar Air Limbah Kulit

KA2 = Kadar Air Jerami Padi

Pre-Treatment. Pemanasan limbah *fleshing* pada suhu 80–100°C selama 30 menit hingga teksturnya berubah menjadi lumpur (*sludge*). Pemanasan ini bertujuan untuk menghomogenkan limbah *fleshing* agar tidak ada lagi gumpalan (lemak) sehingga mempermudah pencampuran dengan jerami padi dan dapat mengeliminasi mikroba patogen. Jerami padi juga diproses dengan cara digiling hingga halus agar mudah homogen ketika proses pencampuran bahan.

Dekomposisi Awal. Pencampuran bahan sesuai dengan perhitungan komposisi masing-masing nisbah C/N, penambahan air dan ekoenzim, kemudian setelah tercampur secara homogen dimasukkan kedalam *polybag* serta dilakukan proses dekomposisi awal secara aerob selama 7 hari. Pengambilan sampel dilakukan dimulai 6 jam pertama terhitung setelah jam selesai pembuatan dekomposisi, kemudian untuk hari berikutnya hingga hari ke 7 dilakukan setelahnya menghitung 12-24 jam sekali. Air yang harus ditambahkan adalah sebanyak 2,87 liter

3.3 Isolasi dan Perhitungan Total Mikroba

Isolasi dan perhitungan total mikroba (bakteri dan kapang) dilakukan menggunakan metode *Total Plate*

Count (TPC) dengan teknik pengenceran bertingkat (*serial dilution*) dan metode *pour plate*. Sebanyak 10 gram sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 90 mL larutan NaCl fisiologis 0,9%, kemudian dihomogenisasi menggunakan vortex. Selanjutnya dilakukan pengenceran secara berurutan dengan mengambil 1 mL suspensi dan memasukkannya ke dalam 9 mL NaCl 0,9%, hingga mencapai pengenceran 10^{-12} untuk bakteri dan 10^{-5} untuk kapang.

Sebanyak 1 mL suspensi dari masing-masing pengenceran diinokulasikan ke dalam cawan petri steril menggunakan metode *pour plate*, kemudian ditambahkan media cair sesuai jenis mikroba yang diamati, yaitu *Nutrient Agar* (NA) untuk bakteri dan *Potato Dextrose Agar* (PDA) untuk kapang. Cawan untuk isolasi bakteri diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam, sedangkan cawan untuk kapang diinkubasi pada suhu ruang selama 3 × 24 jam.

Jumlah koloni yang tumbuh dihitungkan pada cawan yang mengandung 25–250 koloni. Nilai tersebut dikalikan dengan faktor pengenceran untuk memperoleh jumlah populasi mikroba dalam satuan CFU/g pada sampel (Tortora, dkk. 2012).

3.4 Pengukuran Parameter

Parameter yang diukur adalah jumlah populasi bakteri dan kapang selama dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi dengan perbedaan nisbah C/N, serta identifikasi karakteristik makroskopis dan mikroskopis bakteri dan kapang.

Pengamatan identifikasi bakteri dan kapang secara makroskopis atau visual mengacu pada Ibrahim, dkk. (2015). Pengamatan makroskopis dilakukan dengan cara mengamati secara melihat langsung morfologi bakteri dan kapang yang tumbuh pada media dan mencatat karakteristik koloni bakteri dan kapang meliputi bentuk, permukaan, tepi dan warna koloni. Identifikasi karakteristik mikroskopis bakteri melalui pewarnaan gram dan mikroskopis kapang melalui slide culture.

3.5 Rancangan Percobaan dan Analisis Statistik

Analisis data dari hasil pengujian total BAL, nilai pH, total asam, dan viskositas pada yoghurt susu skim bubuk dengan penambahan pati singkong menggunakan uji *Two way Analysis of Avariance (ANOVA)* dengan taraf signifikansi 5% pada software SPSS. Apabila terdapat pengaruh nyata, maka analisis dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test (DMRT)* dengan taraf signifikansi 5 % ($P \leq 0,05$). Perbedaan antara lama penyimpanan 0 hari dan 7 hari diuji dengan uji-T. Pengujian total BAL, pH, dan total asam akan dilanjutkan dengan uji korelasi *pearson*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dekomposisi limbah organik sangat dipengaruhi oleh aktivitas mikroba, terutama bakteri dan kapang, yang menguraikan bahan organik menjadi senyawa sederhana. Oleh karena itu, bagian hasil penelitian ini akan membahas perubahan jumlah koloni mikroba, baik bakteri maupun

kapang, pada berbagai perlakuan nisbah C/N untuk memahami bagaimana keseimbangan nutrisi memengaruhi proses dekomposisi awal campuran limbah fleshing dan jerami padi.

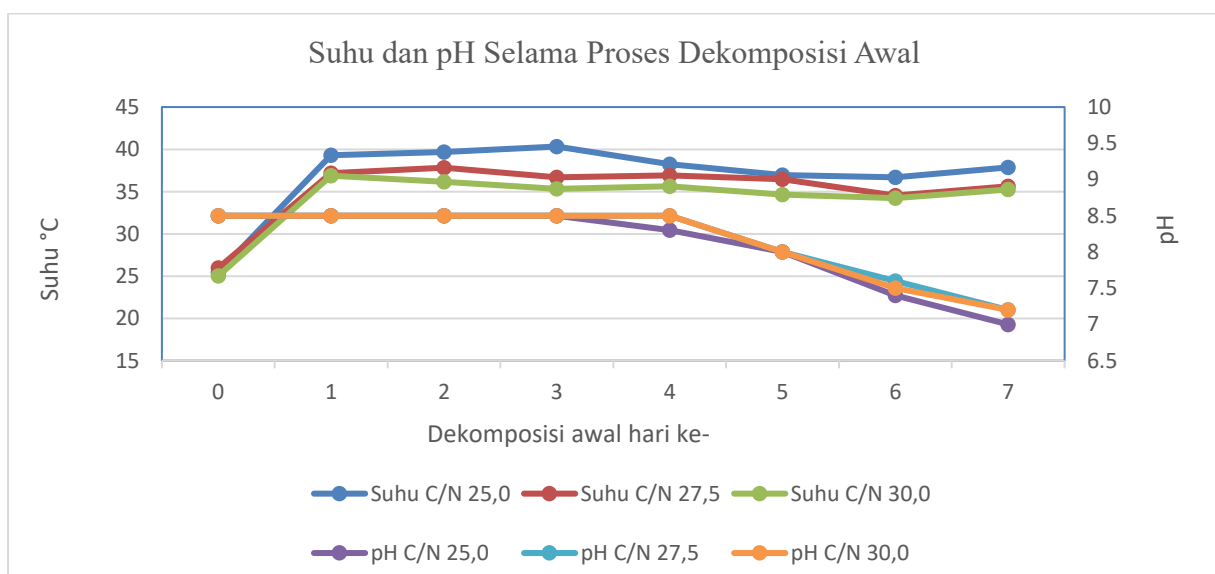
1. Suhu dan pH Selama Proses Dekomposisi Awal Campuran Limbah Fleshing dan Jerami Padi

Suhu merupakan parameter yang sangat penting dalam proses dekomposisi awal. Suhu akan mengindikasikan adanya aktivitas mikroorganisme. Suhu juga memengaruhi laju penguraian bahan organik. Suhu yang optimal dapat meningkatkan metabolisme mikroba, yang pada gilirannya mempercepat proses dekomposisi. Pada dekomposisi awal belum menghasilkan kompos, pada dekomposisi awal terjadi proses dekomposisi bahan organik kompleks menjadi bahan organik lebih sederhana, hal ini ditunjukkan pada perubahan suhu yg terjadi, hal ini disajikan pada gambar 1. Dalam penelitian ini, perubahan suhu selama proses dekomposisi diamati secara cermat untuk memahami pengaruhnya terhadap perkembangan populasi mikroba. Selain suhu, pH juga menjadi faktor penting dalam proses ini karena kestabilan pH yang optimal mempengaruhi aktivitas enzim dan pertumbuhan mikroba, sehingga dapat mempercepat proses dekomposisi. Suhu dan pH yang tepat dapat meningkatkan metabolisme mikroba, menghasilkan proses dekomposisi yang lebih efisien dan kompos yang berkualitas. Gambar 1. menunjukkan suhu dan pH yang tercatat selama fase dekomposisi awal

Berdasarkan pada hasil pengamatan selama proses dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan Jerami padi, P1 dengan Nisbah C/N 25,0, suhu awalnya sebesar 25,45°C meningkat hingga mencapai puncak 40,33°C. Pada P2, Nisbah C/N sebesar 27,5 menghasilkan puncak suhu 37,83°C. Sementara itu, P3 dengan Nisbah C/N 30,0 menunjukkan puncak suhu terendah, yaitu 36,88°C. Proses dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi menunjukkan variasi suhu yang dipengaruhi oleh nisbah C/N, dimana nisbah ideal untuk pengomposan adalah 25–30 (Bernal, dkk. 2009); pada P1 (C/N 25,0), suhu mencapai puncak 40,33°C pada hari ke-3, mengindikasikan dekomposisi cepat dan transisi ke fase termofilik yang penting untuk inaktivasi patogen (Epstein, 1997); P2 (C/N 27,5) mencapai puncak suhu 37,83°C pada hari ke-2, dengan penurunan laju dekomposisi karena mikroba memerlukan

waktu lebih lama untuk mengakses nitrogen (Tiquia, dkk. 2002) dan P3 (C/N 30,0) menunjukkan puncak suhu terendah 36,88°C pada hari ke-1, mengindikasikan dekomposisi lambat akibat ketersediaan nitrogen yang terbatas.

Hasil pengukuran pH menunjukkan selama dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi, pH mengalami penurunan dari 8,5 menjadi 7,2 dalam 7 hari, sesuai standar optimal 6,8–7,5 untuk dekomposisi bahan organik (Li, dkk. 2018; Kumar, dkk. 2020). Penurunan pH dari 8,5 menjadi 7,2 selama 7 hari dekomposisi awal menunjukkan bahwa kondisi menjadi lebih netral, yang sesuai dengan kisaran optimal pH 6,8–7,5 untuk aktivitas mikroba pengurai. Sebuah studi oleh Kaman, dkk. (2022) tentang stabilisasi lumpur penyamakan kulit melalui vermikomposting menggunakan *Eisenia foetida* menunjukkan tren serupa :



Gambar 1. Suhu dan pH selama Proses Dekomposisi Awal

pH awal di kisaran basa (sekitar 8,2–8,3) menurun secara bertahap ke level netral selama proses komposting berlangsung. Awalnya stabil karena amonia dari dekomposisi protein (Zhu, dkk. 2019), pH menurun karena aktivitas bakteri penghasil asam seperti *Lactobacillus* dan *Bacillus* sp. (Paredes, dkk. 2000), serta kapang *Aspergillus* sp. dan *Trichoderma* sp. yang mengurai lignoselulosa (Singh, dkk. 2016). Penambahan ekoenzim mempercepat fermentasi dan produksi asam organik, mencapai fase stabil pada pH 7,2 yang aman dan siap digunakan.

2. Populasi Bakteri Selama Proses Dekomposisi Awal Campuran Limbah Fleshing dan Jerami Padi

Salah satu hal Populasi bakteri memegang peranan penting dalam proses dekomposisi awal. Pada umumnya populasi bakteri pada dekomposisi awal akan mengikuti seiring dengan peningkatan suhu. Aktivitas bakteri

menentukan efektivitas dekomposisi dengan menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Keberadaan dan pertumbuhan bakteri juga dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti ketersediaan nutrisi, nisbah C/N, serta kondisi lingkungan seperti pH. Rata-rata Populasi Bakteri pada Proses Dekomposisi Awal campuran limbah fleshing dan jerami padi dengan perbedaan nisbah C/N disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam yang disajikan pada Tabel 1. menunjukkan bahwa rata-rata populasi bakteri selama dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi dengan nisbah C/N 25,0 (P1), 27,5 (P2), dan 30,0 (P3) menunjukkan fluktuasi namun tetap stabil, berkisar antara $0,75-2,05 \times 10^{12}$ CFU/g, dengan suhu 25,02-40,33°C, di mana perbedaan nisbah C/N tidak signifikan mempengaruhi populasi ($P > 0,05$).

Tabel 1. Rata-rata Populasi Bakteri pada Proses Dekomposisi Awal

	P1	P2	P3
Hari Ke	 $\times 10^{12}$ CFU/g		
0	1,13	1,16	1,30
1	1,53	1,84	1,94
2	1,67	1,43	1,71
3	1,83	1,82	1,87
4	0,75	0,94	0,97
5	1,12	1,48	1,44
6	1,22	1,73	1,78
7	1,69	1,69	2,05

Keterangan: P1 (Nisbah C/N 25,0); P2 (Nisbah C/N 27,5); P3 (Nisbah C/N 30,0)

Perlakuan nisbah C/N antara 25-30 menghasilkan kisaran populasi bakteri $11,87-12,31 \times 10^{12}$ CFU/g, yang mengindikasikan bakteri dekomposer mampu beradaptasi dalam rentang nisbah C/N dan suhu yang dihasilkan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Vrananta, dkk. (2013), yang menunjukkan bahwa dalam kisaran nisbah C/N tertentu, populasi bakteri tetap stabil dan tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Selain itu, penelitian oleh Ismi (2014) juga menunjukkan bahwa meskipun nisbah C/N berpengaruh terhadap dinamika Mikroba, perbedaan yang tidak terlalu jauh dalam nisbah C/N tidak menyebabkan perubahan drastis dalam populasi bakteri. Sejalan juga dengan penelitian Marlina, dkk. (2020) yang menunjukkan bahwa dinamika populasi bakteri selama dekomposisi awal dipengaruhi oleh nisbah C/N, menentukan ketersediaan nutrisi bagi mikroba. Dalam proses dekomposisi awal, terjadi perubahan suhu dan pH, yang berkaitan erat dengan aktivitas

mikroba dalam mendekomposisi bahan organik

3. Populasi Kapang selama Proses Dekomposisi Awal Campuran Limbah *Fleshing* dan Jerami Padi

Populasi kapang berperan penting dalam proses dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi karena kapang efektif menguraikan bahan-bahan kompleks, terutama lignoselulosa, sehingga dapat mempercepat degradasi. Aktivitas kapang yang optimal mendukung keseimbangan mikroorganisme dalam sistem dekomposisi. Hasil Analisis terhadap rata-rata populasi kapang selama proses dekomposisi awal disajikan pada Tabel 2.

Populasi kapang cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu, terutama pada hari ke-1 hingga ke-4. Namun, setelah suhu mencapai puncaknya, populasi kapang tidak mengalami perubahan signifikan. Berdasarkan hasil pengamatan yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Populasi Kapang pada Proses Dekomposisi Awal

	P1	P2	P3
Hari Ke	 x 10^5 CFU/g		
0	0,40	0,37	0,45
1	0,52	0,50	0,55
2	0,66	0,67	0,82
3	0,66	0,77	0,78
4	0,63	0,89	0,80
5	0,50	0,46	0,66
6	0,53	0,74	0,62
7	0,67	0,53	0,72

Keterangan: P1 (Nisbah C/N 25,0); P2 (Nisbah C/N 27,5); P3 (Nisbah C/N 30,0)

menunjukkan bahwa populasi kapang selama dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi, dengan nisbah C/N 25,0 (P1), 27,5 (P2), dan 30,0 (P3), menunjukkan variasi populasi dan suhu yang berbeda tidak nyata ($P > 0,05$) berdasarkan analisis Sidik Ragam, mengindikasikan bahwa kisaran nisbah C/N yang digunakan tidak terlalu jauh. Pada perlakuan P1, populasi kapang berkisar antara $0,40 \times 10^5$ hingga $0,67 \times 10^5$ CFU/g dengan suhu antara $25,45^\circ\text{C}$ hingga $40,33^\circ\text{C}$. Pada P2, populasi kapang berada di kisaran $0,37 \times 10^5$ hingga $0,89 \times 10^5$ CFU/g dengan suhu $25,97^\circ\text{C}$ hingga $37,83^\circ\text{C}$. Sementara itu, pada P3, populasi kapang berkisar antara $0,45 \times 10^5$ hingga $0,82 \times 10^5$ CFU/g dengan suhu $25,02^\circ\text{C}$ hingga $36,88^\circ\text{C}$. Hasil analisis sidik ragam setelah dilakukan transformasi logaritma menunjukkan bahwa populasi kapang berada pada kisaran $4,60 \times 10^5$ hingga $4,81 \times 10^5$ CFU/g untuk P1, $4,57 \times 10^5$ hingga $4,93 \times 10^5$ CFU/g untuk P2, dan $4,64 \times 10^5$ hingga $4,91 \times 10^5$ CFU/g untuk P3. Meskipun nisbah C/N merupakan faktor penting dalam proses dekomposisi, pengaruhnya terhadap populasi kapang dalam penelitian ini tampak tidak signifikan, yang dapat disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, kisaran nisbah C/N antar perlakuan (P1, P2, P3) relatif tidak terlalu jauh atau ekstrem, sehingga tidak cukup memberikan perbedaan yang nyata terhadap kondisi pertumbuhan kapang.

Kapang umumnya memiliki toleransi yang lebih luas terhadap variasi C/N dibandingkan bakteri, karena

mereka mampu bertahan dan tumbuh dalam lingkungan dengan nutrisi terbatas atau tidak seimbang, termasuk kondisi C/N yang kurang ideal. Kedua, suhu lingkungan selama dekomposisi yang berada dalam rentang mendukung (sekitar $25\text{--}40^\circ\text{C}$) juga menjadi faktor dominan yang memungkinkan pertumbuhan kapang tetap stabil pada setiap perlakuan, terlepas dari variasi nisbah C/N. Ketiga, peran ekoenzim yang ditambahkan dalam proses ini dapat menyediakan enzim-enzim pendegradasi serta meningkatkan aktivitas mikroorganisme secara umum, termasuk kapang, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap keseimbangan C/N.

Suhu memainkan peran penting dalam aktivitas kapang selama dekomposisi, dimulai dari suhu lingkungan $25\text{--}26^\circ\text{C}$ yang meningkat tajam menjadi $37\text{--}40^\circ\text{C}$ dalam 1-2 hari pertama, kondisi yang ideal untuk kapang mesofilik dan termofilik awal (Ryckeboe, dkk. 2003). Populasi kapang meningkat seiring kenaikan suhu hingga hari ke-4, lalu stabil, yang sesuai dengan rentang suhu optimal $30\text{--}40^\circ\text{C}$ untuk pertumbuhan kapang dalam dekomposisi, dengan suhu di atas 45°C menghambat kapang mesofilik dan mendukung termofilik (Ryckeboer, dkk. 2003). Stabilitas populasi kapang pada nisbah C/N 25-30 menunjukkan kondisi optimal untuk dekomposisi, sejalan dengan temuan bahwa nisbah C/N ini tidak signifikan yang mempengaruhi tingkat pertumbuhan mikroba, tetapi memberikan keseimbangan yang baik

antara sumber karbon dan nitrogen (Insam & De Bertoldi, 2007).

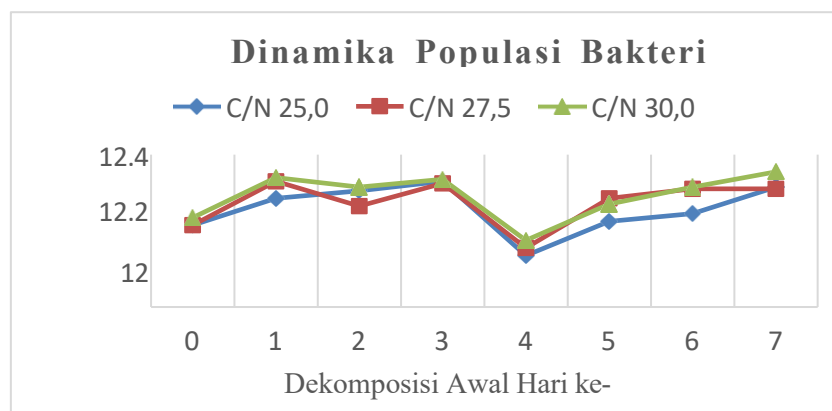
4. Dinamika Populasi Bakteri pada Proses Dekomposisi Awal Campuran Limbah Fleshing dan Jerami Padi

Jumlah populasi bakteri pada penggunaan nisbah C/N yang berbeda mengalami perubahan seiring dengan berlangsungnya proses dekomposisi. Aktivitas bakteri pada proses dekomposisi awal menghasilkan sebuah dinamika populasi bakteri bersamaan dengan terjadinya fluktuasi suhu proses dekomposisi. Taiwo & Oso (2004) menjelaskan bahwa suhu pada proses dekomposisi ditentukan oleh banyaknya proses biologi dan peranan bakteri dalam mendegradasi bahan organik. Dinamika populasi bakteri pada proses dekomposisi campuran limbah *fleshing* dan jerami padi dengan perbedaan nisbah C/N disajikan pada Gambar 2.

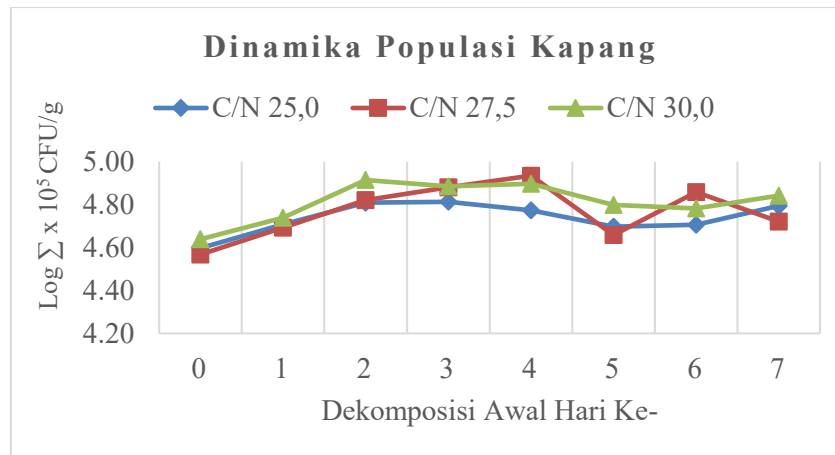
Dinamika populasi bakteri selama dekomposisi awal campuran limbah

fleshing dan jerami padi menunjukkan perubahan seiring waktu, karena dipengaruhi oleh nisbah C/N dan suhu (Taiwo & Oso, 2004).

Berdasarkan hasil pengamatan yang disajikan pada Gambar 2. Suhu meningkat signifikan pada fase awal, mengindikasikan aktivitas mikroba yang menghasilkan panas, dan berkorelasi dengan peningkatan populasi bakteri mesofilik yang mendominasi pada tahap ini (Zhang, dkk. 2016; Huang, dkk. 2019). Meskipun populasi bakteri mencapai puncaknya di pertengahan proses dan kemudian sedikit berfluktuasi, dominasi bakteri mesofilik seperti *Bacillus*, *Pseudomonas* dan *Actinobacteria* tetap berlanjut sepanjang periode pengamatan karena suhu tidak mencapai zona termofilik. Fluktuasi suhu selama dekomposisi awal mempengaruhi dinamika populasi khususnya bakteri. Bakteri dominan pada fase mesofilik adalah *Bacillus* sp. dan fase termofilik *Pseudomonas* sp.



Gambar 2. Dinamika Populasi Bakteri Selama Proses Dekomposisi Awal



Gambar 3. Dinamika Populasi Kapang Selama Proses Dekomposisi Awal

5. Dinamika Populasi Kapang pada Proses Dekomposisi Awal Campuran Limbah Fleshing dan Jerami Padi

Dinamika populasi kapang sangat penting dalam proses dekomposisi karena perubahan jumlah dan aktivitas kapang mencerminkan respon terhadap kondisi lingkungan dan ketersediaan substrat. Berbeda dengan bakteri yang mungkin mengalami penurunan akibat kondisi lingkungan yang berubah, kapang tetap dapat bertahan karena memiliki toleransi lebih tinggi terhadap fluktuasi suhu dan kelembaban (Insam & de Bertoldi, 2021). Dinamika populasi kapang pada proses dekomposisi campuran limbah fleshing dan jerami padi dengan perbedaan nisbah C/N disajikan pada Gambar 3.

Selama dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi, populasi kapang menunjukkan dinamika yang stabil dibandingkan bakteri, dengan populasi rendah pada hari ke-0, peningkatan hingga puncak pada hari ke-2 hingga ke-5, dan

stabilisasi hingga hari ke-7, yang dipengaruhi oleh fluktuasi suhu antara 25°C hingga 39°C (Insam & de Bertoldi, 2021). Kapang mesofilik, terutama dari kelompok *Ascomycota* seperti *Aspergillus*, *Penicillium*, dan *Trichoderma*, mendominasi proses dekomposisi, aktif menguraikan senyawa organik kompleks seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang dimulai perkembangannya pada hari ke-0 hingga ke-2, mencapai puncaknya pada hari ke-3 hingga ke-5, dan tetap aktif meskipun menurun pada hari ke-6 hingga ke-7. Dominasi kapang mesofilik ini disebabkan oleh suhu yang tidak melebihi 45°C, yang merupakan batas bawah pertumbuhan optimal kapang termofilik seperti *Thermomyces lanuginosus* (Zhang, dkk. 2020). Kapang yang dominan pada fase mesofilik adalah *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Mucor* sp. dan *Penicillium* sp. yang berperan dalam biodegradasi lignoselulosa, membentuk konsorsium mikroba yang mempercepat dekomposisi limbah organik.

6. Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri pada Proses Dekomposisi Awal Campuran Limbah *Fleshing* dan Jerami Padi

Karakteristik makroskopis diperoleh dengan cara melihat bentuk, elevasi, tepi dan warna koloni bakteri pada media *Nutrient Agar* (NA), sedangkan karakteristik mikroskopis diperoleh dengan cara mengamati warna dan bentuk sel bakteri melalui uji pewarnaan gram. Identifikasi bakteri secara makroskopis dan mikroskopis dapat dilakukan untuk mengetahui genus bakteri yang berperan. Hasil identifikasi karakteristik makroskopis dan mikroskopis bakteri pada proses dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi dengan perbedaan nisbah C/N diperoleh isolat bakteri dominan yang berperan pada hari ke- 0, hari ketika mencapai suhu tertinggi dan ke-7 disajikan pada Tabel 3.

Penelitian ini mengidentifikasi 9 isolat bakteri pada media *Nutrient Agar* (NA) menunjukkan variasi karakteristik koloni, di mana pengamatan makroskopis (bentuk, elevasi, tepi, warna) dan mikroskopis (pewarnaan Gram, morfologi sel) mengungkapkan keberagaman bentuk koloni (*irregular*, *circular*, *rhizoid*, *filamentous*), dengan dominasi bentuk *circular* dan *irregular* yang mengindikasikan pertumbuhan koloni kompak dan menyebar (Prescott, dkk. 2017). Elevasi koloni bervariasi

antara *flat* dan *convex*, tepi koloni antara *lobate*, *undulate* dan *entire*, serta warna koloni didominasi putih dengan beberapa isolat menunjukkan warna kekuningan dan krem, yang berpotensi berkaitan dengan produksi pigmen oleh bakteri seperti *Pseudomonas* atau *Bacillus* (Madigan, dkk. 2019).

Karakteristik mikroskopis menunjukkan bahwa isolat bakteri terdiri atas bentuk batang (*Bacillus*), *coccus*, *monobacillus* dan *diplococcus*. Sebagian besar isolat bersifat Gram-positif. Genus *Bacillus*, mengindikasikan peran dominan dalam proses dekomposisi bahan organik karena kemampuannya dalam menghasilkan enzim hidrolitik yang efektif dalam degradasi protein dan polisakarida kompleks (Atlas & Bartha, 2019). Uji pewarnaan Gram digunakan untuk mengidentifikasi bakteri secara mikroskopik dengan membedakan struktur dinding selnya. Bakteri Gram positif mempertahankan warna ungu karena dinding selnya yang tebal dapat menahan zat warna kristal violet setelah dicuci dengan alkohol. Sebaliknya, bakteri Gram negatif mengalami dekolorisasi oleh alkohol, kehilangan warna kristal violet dan berwarna merah setelah pewarnaan dengan *safranin* atau *fuchsin*. Perbedaan ini disebabkan oleh komposisi dinding sel, di mana Gram negatif memiliki lapisan lipopolisakarida yang larut saat dekolorisasi (Waluyo, 2008; Benson, 2001; Yusmaniar, dkk. 2017).

Tabel 3. Identifikasi Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri

Perlakuan	Makroskopis					Mikroskopis			
	Hasil	Bentuk	Elevasi	Tepi	Warna	Hasil	Bentuk	Warna	Gram
P1		<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Lobate</i>	Putih		<i>Monobacillus</i>	Ungu	+
		a. <i>Rhizoid</i> b. <i>Circular</i>		a. <i>Rhizoid</i> b. <i>Entire</i>	Putih	 	a. <i>Bacillus</i> b. <i>Coccus</i>	a. Ungu b. Merah	a. + b. -
P2		<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Entire</i>	Putih		<i>Bacillus</i>	Merah	-
		<i>Circular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>	Putih		<i>Coccus</i>	Merah	-
P3		<i>Irregular</i>	<i>Flat</i>	<i>Entire</i>	Krem		<i>Duplobacillus</i>	Ungu	+
		<i>Circular</i>	<i>Convex</i>	<i>Undulate</i>	Krem		<i>Bacillus</i>	Merah	-

Keterangan: P1 (C/N 25,0), P2 (C/N 27,5), P3 (C/N 30,0)

Analisis mikroskopis isolat bakteri dari limbah *fleshing* dan jerami padi menunjukkan keberagaman bentuk batang (*coccus*, *monobacillus*, *diplococcus*) dan sifat Gram (dominan Gram-positif), di mana genus *Bacillus* mendominasi dan berperan penting dalam dekomposisi bahan organik kompleks melalui produksi enzim hidrolitik (Atlas & Bartha, 2019; Prescott, dkk. 2017; Tortora, dkk. 2019). Perbedaan pewarnaan Gram disebabkan oleh variasi komposisi dinding sel, mempengaruhi ketahanan bakteri terhadap lingkungan limbah (Waluyo, 2008; Benson, 2001; Yusmaniar, dkk. 2017; Madigan, dkk. 2019), dengan isolat berbentuk *irregular* (*lobate*, *undulate*) dan Gram-positif mengarah pada *Bacillus*, isolat *coccus* Gram-

positif mengarah pada *Staphylococcus* atau *Streptococcus* (Ryan & Ray, 2021), isolat *monobacillus* Gram-positif mengarah pada *Bacillus*, isolat *Bacillus* Gram-negatif mengarah pada *Pseudomonas* (Kowalski & Croft, 2022), isolat *circular* Gram-negatif mengarah pada *Pseudomonas* spp., dan isolat *diplococcus* Gram-negatif mengarah pada *Neisseria* atau *Moraxella* (Atlas & Bartha, 2019).

Komunitas bakteri yang berkembang terdiri dari kelompok mikroba dengan peran berbeda, di mana *Bacillus* dan *Actinobacteria* mendominasi dekomposisi bahan organik kompleks, *Pseudomonas* berperan dalam bioremediasi senyawa toksik, dan bakteri Gram-negatif terlibat dalam reduksi nitrogen dan senyawa organik,

meningkatkan efisiensi pengolahan limbah biologis (Kowalski & Croft, 2022; Ryan & Ray, 2021).

7. Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis Kapang pada Proses Dekomposisi Awal Campuran Limbah Fleshing dan Jerami Padi

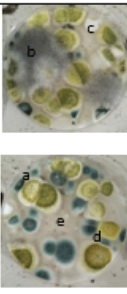
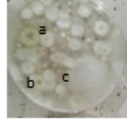
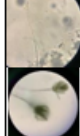
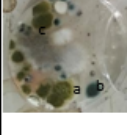
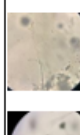
Karakteristik makroskopis diperoleh dengan cara melihat warna koloni, bentuk, tekstur, *radial furrow* dan *growing zone* kapang pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA), sedangkan karakteristik mikroskopis diperoleh dengan cara mengamati hifa dan spora melalui uji *slide culture*. Identifikasi kapang secara makroskopis dan mikroskopis dapat dilakukan untuk mengetahui genus kapang yang berperan. Hasil identifikasi karakteristik makroskopis dan mikroskopis kapang pada proses dekomposisi awal campuran limbah *fleshing* dan jerami padi dengan perbedaan nisbah C/N diperoleh beberapa isolat kapang dominan yang berperan pada hari ke-0, hari ketika mencapai suhu tertinggi dan ke 7 disajikan pada Tabel 4.

Isolat kapang diidentifikasi sebanyak 9 isolat melalui pengamatan karakteristik makroskopis (warna, bentuk koloni, tekstur, *radial furrow*, *growing zone*) dan mikroskopis (hifa, spora, genus), dimana isolat menunjukkan variasi bentuk koloni (bulat hingga *irregular*), tekstur (didominasi kapas), dan warna (putih hingga campuran coklat kekuningan), mencerminkan perbedaan metabolisme sekunder. Penggunaan metode *slide culture*

memungkinkan identifikasi mikroskopis dengan mempertahankan struktur hifa dan spora mendekati kondisi aslinya, sehingga pengamatan morfologi hifa, bentuk spora, dan cara reproduksi menjadi dasar klasifikasi kapang (Samson, dkk. 2019).

Berdasarkan hasil analisis mikroskopis isolat kapang sebagai genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, dan *Mucor* berdasarkan hifa bersekat atau tidak bersekat dan spora bulat, yang berperan dalam dekomposisi bahan organik kompleks (Pitt & Hocking, 2021; Alexopoulos, dkk. 2020; Machado, dkk. 2022; Frisvad, dkk. 2021; Harman, dkk. 2020). Seiring waktu, terjadi perubahan warna koloni dari putih menjadi hijau kehijauan atau coklat kekuningan, mengindikasikan dominasi *Penicillium* dan *Trichoderma* yang lebih cepat tumbuh dibandingkan *Mucor* atau *Aspergillus*, serta keberagaman hifa dan spora mencerminkan adaptasi pada lingkungan limbah (Machado, dkk. 2022; Alexopoulos, dkk. 2020). Komunitas kapang ini menunjukkan potensi besar dalam biodegradasi limbah, dengan *Aspergillus* dan *Penicillium* mendegradasi protein dan polisakarida, *Trichoderma* mengurai lignoselulosa, dan *Mucor* mengindikasikan fermentasi anaerob awal yang tergeser oleh kapang dominan, menunjukkan efisiensi biokonversi limbah melalui kombinasi berbagai jenis kapang (Harman, dkk. 2020; Frisvad, dkk. 2021).

Tabel 4. Identifikasi Karakteristik Makroskopis dan Mikroskopis Kapang

Perlakuan	Makroskopis					Mikroskopis				
	Hasil	Warna Koloni	Bentuk	Tekstur	<i>Radial furrow</i>	<i>Growing Zone</i>	<i>Slide Culture</i>	Hifa	Spora	Genus
P1		a. Hijau kekuningan b. Hitam abu-abu c. Putih d. Coklat Keemasan e. Hijau kebiruan	a. Bulat b. Bulat c. Bulat d. Bulat e. Bulat	a. Kapas b. Kering (beludru) c. (serbuk) d. Kapas e. Berbulu Halus (serbuk)	a. Tidak Ada b. Tidak Ada c. Tidak ada d. Tidak Ada e. Tidak terlihat jelas	a. Ada b. Ada c. Ada d. Ada e. Ada		a. Berserpta b. Berserpta c. Tidak Berserpta d. Berserpta e. Berserpta	a. Bulat b. Rantai c. Bulat d. Bulat e. Bulat	a. Aspergillus b. Cladosporium c. Rhizopus d. Penicillium e. Penicillium
P2		a. Putih b. Kekuningan c. Hijau d. Kekuningan e. Putih	a. Bulat b. Bulat c. Bulat	a. Kapas b. Halus ditemi kasar ditengah c. Halus padat	a. Tidak Ada b. Tidak Ada c. Tidak Ada	a. Merata b. Bagian tengah padat c. Merata		a. Berserpta b. Berserpta c. Berserpta	a. Oval b. Rantai c. Bulat	a. Trichoderma b. Penicillium c. Aspergillus
P3		a. Hijau kekuningan b. Biru kehijauan c. Hitam kehijauan	a. Bulat b. Bulat c. bulat	a. Serbuk (sedikit berbulu) b. Serbuk halus c. Bercak serbuk padat	a. Ada b. Tidak ada c. Tidak ada	a. Ada b. Ada c. Ada		a. Berserpta b. Berserpta c. Berserpta	a. Bulat hingga oval b. Globuse c. Bulat	a. Trichoderma b. Penicillium c. Aspergillus

Berdasarkan data pada Tabel 4. menyajikan hasil pengamatan makroskopis koloni kapang dari berbagai perlakuan (P1, P2, P3). Secara umum, terlihat adanya variasi yang signifikan dalam karakteristik koloni kapang yang tumbuh pada media agar. Hal ini mencakup perbedaan warna, bentuk, dan tekstur. Warna koloni yang teramati bervariasi dari putih, kekuningan, hijau, biru, hingga hitam, menunjukkan keberagaman pigmen yang dihasilkan oleh kapang. Bentuk koloni didominasi oleh bentuk bulat, namun dengan variasi tekstur yang luas, mulai dari kapas, kering, berbulu, hingga granular. Variasi makroskopis ini mengindikasikan keberagaman

jenis kapang yang mampu tumbuh dalam kondisi eksperimental yang berbeda. (Widawati, dkk. 2021) menekankan bahwa variasi warna, bentuk, dan tekstur koloni kapang adalah indikator penting dalam identifikasi awal, yang dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan pertumbuhan.

Lebih lanjut, pengamatan makroskopis spesifik pada setiap perlakuan mengungkapkan detail yang lebih halus. Perlakuan P1 menunjukkan koloni dengan warna hitam abu-abu dan tekstur seperti beludru, menunjukkan karakteristik unik yang mungkin terkait dengan spesies bakteri tertentu atau kondisi pertumbuhan. Perlakuan P2 didominasi oleh koloni berwarna

putih dengan tekstur kapas dan halus, yang mengindikasikan pertumbuhan kapang yang berbeda dari P1. Perlakuan P3 menunjukkan variasi warna yang paling luas, termasuk hijau, kekuningan, biru, dan hitam, dengan tekstur serbuk dan berbulu, menunjukkan keberagaman jenis kapang yang tumbuh dalam kondisi ini. Selain itu, adanya *Growing Zone* dan *Slide Culture* yang diamati pada beberapa perlakuan menunjukkan perbedaan aktivitas pertumbuhan dan karakteristik kultur antar perlakuan. Perbedaan tekstur dan warna koloni dapat mengindikasikan perbedaan spesies kapang.

Selain karakteristik makroskopis, Tabel 4. juga menyajikan data mikroskopis koloni kapang, yang mencakup bentuk sel, susunan sel, dan keberadaan spora. Pada perlakuan P1, ditemukan kapang dengan bentuk sel bulat (kokus) dan basil, serta adanya spora, menunjukkan keberagaman morfologi seluler. Perlakuan P2 menunjukkan kapang dengan bentuk sel oval dan bulat, serta susunan rantai, yang mengindikasikan jenis kapang yang berbeda dari P1. Perlakuan P3 didominasi oleh kapang berbentuk bulat dengan susunan rantai dan tunggal, yang juga menunjukkan keberagaman morfologi. (Setiawan, dkk. 2023) menegaskan bahwa karakteristik mikroskopis seperti bentuk dan susunan sel sangat penting dalam identifikasi kapang hingga tingkat genus, dan keberadaan spora merupakan ciri khas dari beberapa genus kapang.

Berdasarkan kombinasi data makroskopis dan mikroskopis, beberapa genus kapang berhasil diidentifikasi. Pada perlakuan P1, terdapat indikasi keberadaan genus *Aspergillus*, *Cladosporium* dan *Penicillium*. Perlakuan P2 mengindikasikan genus *Trichoderma* dan *Aspergillus*. Perlakuan P3 juga menunjukkan keberadaan genus *Trichoderma*, *Penicillium* dan *Aspergillus*. Identifikasi ini didasarkan pada perbandingan karakteristik koloni dengan literatur mikrobiologi. (Pratiwi, dkk. 2020) menyatakan bahwa identifikasi genus kapang memerlukan kombinasi data makroskopis dan mikroskopis, serta perbandingan dengan karakteristik yang terdokumentasi dalam literatur mikrobiologi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa nisbah C/N 25–30 tidak menyebabkan perbedaan signifikan pada populasi bakteri ($11,87\text{--}12,31 \times 10^{12}$ CFU/g) dan kapang ($4,57\text{--}4,93 \times 10^5$ CFU/g) selama dekomposisi awal. Puncak populasi terjadi pada fase termofilik. Bakteri dominan adalah *Bacillus* dan *Pseudomonas*, sedangkan kapang meliputi *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, dan *Mucor*. Kapang berperan penting dalam degradasi lignoselulosa. Kombinasi mikroba ini membentuk konsorsium efektif untuk mempercepat dekomposisi limbah organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., & Blackwell, M. (2020). *Introductory mycology*. John Wiley & Sons.
- Atlas, R. M., & Bartha, R. (2019). *Microbial ecology: Fundamentals and applications*. Pearson.
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). *SNI 7763:2018 – Cara uji kadar karbon organik tanah dengan metode Walkley dan Black*. Badan Standardisasi Nasional.
- Benson, H. J. (2001). *Microbiological applications: Laboratory manual in general microbiology*. McGraw-Hill.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Biyada, S., Merzouki, M., Dëmčenko, T., Vasiliauskiene, D., Ivanec-Goranina, R., Urbonavičius, J., Marčiulaitienė, E., Vasarevičius, S., & Benlemlih, M. (2021). Microbial community dynamics in the mesophilic and thermophilic phases of textile waste composting identified through next-generation sequencing. *Scientific Reports*, 11, 23624. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03191-1>
- Djuarnani, N., Kristian, & Budi, S. S. (2005). *Cara cepat membuat kompos*. AgroMedia Pustaka.
- Ecobichon, D. J. (1999). Toxic effects of chemicals in industrial processes. In M. O. Amdur, J. Doull, & C. D. Klassen (Eds.), *Toxicology: The basic science of poisons* (5) 234–245. McGraw-Hill.
- Epstein, E. (1997). *The science of composting*. CRC Press.
- Frisvad, J. C., Houbraeken, J., Samson, R. A., & Andersen, B. (2021). *Penicillium: Biology, biodiversity, and biotechnology*. Springer.
- Harman, G. E., Lorito, M., & Woo, S. L. (2020). *Trichoderma: Biology and applications*. CRC Press.
- Huang, G. F., Wong, J. W., Wu, Q. T., & Nagar, B. B. (2019). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, 27(8), 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.011>
- Ibrahim, A., Fridayanti, A., & Delvia, F. (2015). Isolasi dan identifikasi bakteri asam laktat (BAL) dari buah mangga (*Mangifera indica* L.). *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 1(2), 159–163. <https://doi.org/10.51352/jim.v1i2.44>

- Insam, H., & De Bertoldi, M. (2007). Microbiology of the composting process. *Waste Management*, 25(4), 25–42.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.009>
- Insam, H., & De Bertoldi, M. (2021). Microbiology of the composting process. In M. de Bertoldi & H. Insam (Eds.), *Compost science and technology* (2), 53–78. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820772-6.00004-0>
- Ismi, H. (2014). Pengaruh berbagai nisbah C/N campuran feses domba dan jerami padi terhadap dinamika populasi bakteri dan kapang pada proses dekomposisi awal. *Jurnal Universitas Padjadjaran*, 3(2), 45–53.
- Kaman, Y. N., Okur, N., & Kayıkçıoğlu, H. H. (2022). Biostabilization of tannery sludge compost by vermicomposting. *Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi)*, 28(3), 473–480.
<https://doi.org/10.15832/ankutbd.912938>
- Kondo, R. (1991). Biodegradation and utilization of organic waste materials. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 15(3), 123–135.
- Kowalski, M., & Croft, M. T. (2022). Biodegradation of tannery waste using bacterial consortia. *Journal of Applied Microbiology*, 133(4), 1245–1258.
<https://doi.org/10.1093/jambio/1x091>
- Kumar, R., Verma, D., & Singh, A. (2020). Effect of cow dung and crop residues on composting process and compost quality. *Journal of Environmental Management*, 259, 109734.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109734>
- Li, Y., Zhang, R., & He, Y. (2018). Decomposition process and pH variation during composting of agricultural wastes. *Bioresour Technology*, 261, 10–17.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.050>
- Machado, A. R., Pires, M. C., Rocha, L. C., & Pereira, O. L. (2022). Fungal communities in organic waste biodegradation: A molecular and morphological perspective. *Microbial Ecology*, 84(3), 678–692.
<https://doi.org/10.1007/s00248-022-02025-0>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2019). *Brock biology of microorganisms* (15th ed.). Pearson Education.

- Madanhire, I., & Mbohwa, C. (2015). *Sustainability of leather production: A case study of Zimbabwe tanning industry*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11955-9>
- Marlina, E. T., Badruzzaman, D. Z., Harlia, E., Hidayati, Y. A., & Susilawati, I. (2020). Microbial population dynamics and fiber reduction in the initial decomposition of beef cattle waste composting. *Ziraa'ah: Majalah Ilmiah Pertanian*, 45(2), 123–135. <https://doi.org/10.31602/zmip.v45i2.13737>
- Marlina, E. T., Hidayati, Y. A., Harlia, E., Badruzzaman, D. Z., Meynadhea, N., & Rahayu, N. A. (2024). Kualitas mikroba dan makro-nutrien vermikompos yang dihasilkan oleh *Eisenia fetida* dalam padatan air limbah susu. *Biodiversitas*, 25(6), 2729–2737. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250606>
- Nugraha, A. W., Suparno, O., & Indrasti, N. S. (2018). Analisis material, energi dan toksisitas (MET) pada industri penyamakan kulit untuk identifikasi strategi produksi bersih. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 28(1), 48–60. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2018.28.1.48>
- Paredes, C., Bernal, M. P., Roig, A., & Cegarra, J. (2000). Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. *Biology and Fertility of Soils*, 32(3), 222–227. <https://doi.org/10.1007/s003740000246>
- Pérez, M., Romero, L. I., & Sales, D. (2009). Anaerobic digestion of tannery solid waste. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1–3), 748–755. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.061>
- Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2021). *Fungi and food spoilage* (4th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61696-9>
- Pratiwi, E., Akhdiya, A., & Akhdiya, A. (2020). Keragaman karakter morfologi dan biokimia isolat khamir rizosfer dan endofit tanaman padi. *Buletin Plasma Nutfah*, 26(1), 39–50. <https://doi.org/10.21082/blpn.v26n1.2020.p39-50>
- Prescott, L. M., Harley, J. P., & Klein, D. A. (2017). *Microbiology* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Puccini, M., Rossi, G., & Bianchi, F. (2014). The waste management in tanning industry. *Environmental Chemistry Letters*, 12(3), 315–326.

- Ryan, K. J., & Ray, C. G. (2021). *Sherris medical microbiology* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., & Insam, H. (2003). A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of Microbiology*, 53(4), 349–410.
- Samson, R. A., & Pitt, J. I. (2019). *Advances in Aspergillus research: From systematics to pathogenicity*. CRC Press.
- Setiawan, A., Pramono, H., Rahmawati, D., & Nugroho, S. (2023). Studi komparatif morfologi dan genetik bakteri endofit pada tanaman obat. *Jurnal Mikrobiologi Terapan*, 9(3), 201–215.
- Singh, A., Singh, S. P., & Pandey, A. (2016). Microbial degradation of lignocellulosic biomass: Enzymatic mechanisms and biotechnological applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 977–989.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.013>
- Supriyanto, R., & Widodo, T. (2020). Penggunaan ekoenzim dalam pengolahan limbah. *Jurnal Pengolahan Lingkungan*, 15(3), 45–58.
- Taiwo, L. B., & Oso, B. A. (2004). Influence of composting technique on microbial succession, temperature, and pH in a composting municipal solid waste. *African Journal of Biotechnology*, 3(4), 239–243.
<https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2054>
- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y., & Hodgkiss, I. J. (2002). Effects of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter. *Bioresource Technology*, 75(3), 225–233.
[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00191-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00191-3)
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2012). *Microbiology: An introduction* (11th ed.). Pearson Education.
- Vrananta, D., Setiawan, B., & Lestari, P. (2013). Dinamika populasi mikroba pada berbagai nisbah C/N selama proses dekomposisi. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 1(3), 45–52.
- Waluyo, L. (2008). *Mikrobiologi umum*. UMM Press.
- Waluyo, L. P. H., Marlina, E. T., & Hidayati, Y. A. (2024). Pengaruh molases pada ekoenzim dan filtrat campuran feses sapi potong dan jerami padi terhadap pH, total BAL, dan kadar alkohol. *Ziraa'ah: Majalah Ilmiah Pertanian*, 49(2), 224–233.

- Wang, J., Liu, H., & Zhang, L. (2012). Environmental risks associated with chromium in leather tanning. *Environmental Pollution*, 163, 108–117.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.003>
- Widawati, S., Prasetyo, A., & Kurniawan, R. (2021). Isolasi dan karakterisasi bakteri penghasil enzim protease dari limbah pasar. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 10(1), 12–25.
- Yusmaniar, A., Rahayu, F., & Safitri, R. (2017). Pewarnaan Gram pada bakteri dan implikasinya dalam identifikasi mikroba. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*, 12(2), 45–52.
- Zhang, L., Sun, X., Wang, H., & Zhang, Y. (2016). Effects of temperature and C/N ratio on microbial community and decomposition during composting. *Waste Management*, 48, 115–123.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.041>
- Zhang, L., Sun, X., Wang, H., & Zhong, T. (2020). Fungal succession and metabolic functions during composting. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(5), 2305–2315.
<https://doi.org/10.1007/s00253-020-10362-0>
- Zhu, N., Deng, C., & Xiong, Y. (2019). Role of ammonia and pH in composting of organic wastes. *Waste Management*, 95, 98–106.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.001>